



**PENGESAHAN  
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**NAMA : WARDA ISLAMIYAH**  
**NIM : 0910630104**  
**PROGRAM STUDI : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**  
**JUDUL SKRIPSI : KAJIAN EFISIENSI KONVERSI ENERGI PADA STAR ENERGY GEOTHERMAL  
(WAYANG WINDU) LTD., JAWA BARAT**

**TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Ir. Teguh Utomo, MT**  
**NIP.19650913 199103 1 003**

**Ir. Unggul Wibawa, M.Sc**  
**NIP. 19630106 198802 1 001**

**KAJIAN EFISIENSI KONVERSI ENERGI PADA STAR ENERGY  
GEOTHERMAL (WAYANG WINDU) LTD.,  
JAWA BARAT**

**MAKALAH SEMINAR HASIL  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**



Disusun oleh:  
**WARDA ISLAMIYAH**  
**NIM. 0910630104-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2014**



# KAJIAN EFISIENSI KONVERSI ENERGI PADA STAR ENERGY GEOTHERMAL (WAYANG WINDU) LTD., JAWA BARAT

Warda Islamiyah<sup>1</sup>, Ir. Teguh Utomo, MT<sup>2</sup>, Ir. Unggul Wibawa, M. Sc<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Elektro, <sup>2,3</sup>Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: [islamiyahwarda@yahoo.com](mailto:islamiyahwarda@yahoo.com)

**Abstract**—Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd., is one of the largest geothermal power plant in Indonesia. This company have 2 power plant unit. The first unit producing 110 MW and the second unit has producing 117 MW, so Star Energy Geothermal is now delivering a total of 227 MW of electricity.

Object of this thesis is on first unit which has been producing since 2000. The purpose of this research is for knowing the performance of the machine (turbine and generation) and determine the overall efficiency and adiabatic efficiency. The calculation showing that the value of turbine efficiency, generator efficiency, overall and adiabatic efficiency is relative constant and respectively about 78.8%, 87%, 68.6%, dan 70.28%. In optimization calculation, the optimum separator pressure is 10.2 bar, generating maximum power output of 131.54 MW and an efficiency of 78.87%. The calculation using data at least for 4 years, that is from 2010 until 2013.

**Keywords**— Renewable energy, energy conversion, geothermal power plant, efficiency, Single Flash System, power optimization.

**Abstrak**—Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd., merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga panas bumi terbesar di Indonesia. Perusahaan ini memiliki 2 unit pembangkit, yaitu unit 1 dengan kapasitas produksi listrik sebesar 110 MW dan unit 2 dengan kapasitas produksi listrik sebesar 117 MW, sehingga total daya listrik yang dibangkitkan adalah sebesar 227 MW.

Objek penelitian ini adalah pada unit 1 yang mana sudah beroperasi sejak tahun 2000. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui performansi mesin pengonversi energi yaitu turbin dan generator serta mengetahui efisiensi overallnya dan juga efisiensi adiabatik sistem. Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai efisiensi turbin, generator, overall dan adiabatik yang cenderung konstan, yaitu berturut-turut sekitar 78.8%, 87%, 68.6%, dan 70.28%. Pada perhitungan optimasi, tekanan optimum separator adalah sebesar 10.2 bar menghasilkan daya output turbin maksimal sebesar 131.54 MW dan efisiensi sebesar 78.87%. Perhitungan dilakukan menggunakan data 4 tahun terakhir yaitu dari tahun 2010 s/d 2013.

**Kata Kunci**—Energi terbarukan, konversi energi, pltpb, efisiensi, Single Flash System, optimasi daya.

## LAMPIRAN 1 KPENDAHULUAN

Ebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang begitu pesat. Selama ini, penyediaan energi listrik mayoritas dipenuhi dengan memanfaatkan sumber energi tak terbarukan (*unrenewable*) seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara sedangkan cadangan energi *fossil*

mulai menipis. Energi terbarukan merupakan salah satu solusi yang harus dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB) adalah pembangkit listrik energi terbarukan yang sedang dikembangkan saat ini. Listrik diproduksi melalui energi geothermal di 24 negara. Lima diantaranya menghasilkan 15-22% sebagai produksi listrik nasional dari geothermal (Costa Rica, El Salvador, Iceland, Kenya, dan Filipina) [1].

Indonesia secara geologis terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama yaitu Lempeng Eropa-Asia, India-Australia, dan Pasifik. Hal ini berperan dalam pembentukan gunung berapi di Indonesia. Beberapa literatur mengatakan bahwa Indonesia dikaruniai banyak gunung berapi yang membuat sekitar 40% potensi panas bumi dunia terdapat di Indonesia. Potensi ini tersebar di 276 titik dengan total potensi sebesar 29.038 MW. Namun melihat kenyataan saat ini potensi panas bumi yang dimanfaatkan di Indonesia baru 4% atau sekitar 1.196 MW [2].

STAR ENERGY Ltd., merupakan perusahaan swasta Indonesia yang juga memproduksi listrik menggunakan energi terbarukan yaitu panas bumi/geothermal. Untuk mendukung perusahaan yang telah berdiri sejak tahun 2000 ini, penulis ingin melakukan penelitian tentang studi efisiensi pada proses konversi energi dari steam hingga menjadi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana performansi peralatan konversi energi (turbin dan generator) yang sedang beroperasi saat ini maupun kurva kinerjanya di setiap tahun.

## LAMPIRAN 2 TINJAUAN PUSTAKA

### A. Energi Terbarukan

Energi Terbarukan atau biasa disebut *renewable energy* merupakan jenis sumber daya energi yang tidak habis dipakai karena dapat diperbaharui kembali baik secara alamiah maupun dengan bantuan teknologi. Contoh energi terbarukan seperti matahari, air, angin, panas bumi, biogas, dan biomass.

### B. Konversi Energi

Konversi energi dipahami sebagai proses perubahan energi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain, misalnya dari energi primer menjadi energi sekunder. Pada dasarnya energi primer adalah semua yang berasal dari proses alamiah yang terjadi akibat dari pancaran radiasi energi matahari. Sumber daya energi primer diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu

energi tak terbarukan dan energi terbarukan. Sedangkan energi sekunder adalah energi yang membutuhkan proses pengubahan sebelum digunakan seperti bensin dari minyak bumi, atau listrik dari batu bara [3].

### C. Penggunaan Sumber Energi Panas Bumi

Energi panas bumi telah digunakan seluruh penjuru dunia. Energi ini digunakan secara langsung atau biasa disebut "*direct use*" oleh lebih dari 70 negara. Maksud dari *direct use* adalah energi panas dari bumi langsung digunakan untuk menghangatkan rumah atau bangunan lain tanpa harus mengalami konversi energi terlebih dulu. Pada prinsipnya cara kerja PLTPB hampir sama dengan PLTU kecuali pada asal steam, pada PLTPB steam diperoleh dari *reservoir* dengan memanfaatkan panas bumi sedangkan pada PLTU steam diperoleh dari hasil boiler [4].

Pada tahun 2008, 24 negara menggunakan energi panas bumi untuk membangkitkan listrik. Pengguna terbesar panas bumi untuk listrik di dunia adalah Amerika Serikat, Filipina, Indonesia, Meksiko, Itali, Jepang, Selandia Baru, dan Iceland [5].

Saat ini, energi panas bumi dianggap lebih penting dibanding periode sebelumnya. Masyarakat memiliki kesadaran yang besar akan pentingnya energi dalam kehidupan sehari-hari. Semakin banyak negara yang berkembang, maka semakin tinggi kebutuhan masyarakat akan listrik, sehingga semakin banyak energi lebih yang dibutuhkan. Dari uraian tersebut banyak pendapat bahwa energi panas bumi akan memiliki andil besar di masa depan.

Keuntungan panas bumi sebagai sumber energi:

1. Ramah lingkungan.
2. Energi terbarukan.
3. Sumber yang melimpah di Indonesia.
4. Temperatur inti bumi konstan sepanjang tahun.
5. Tidak memerlukan lahan yang luas.

Kekurangan panas bumi sebagai sumber energi:

A.i.1. Fluida (cairan) yang diambil dari dalam bumi membawa campuran gas berupa karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S), dan ammonia (NH<sub>3</sub>).

### D. Komponen PLTPB

Terdapat beberapa komponen pada PLTPB yaitu:

1. *Production Well* (Sumur Produksi), sumur/pipa penyalur fluida yang pertama kali keluar dari dalam bumi.
2. *Well Pump* (Sumur Pompa), memompa fluida ke permukaan tanah di bawah tekanan.
3. *Well Valves*, digunakan untuk mengontrol aliran/tekanan fluida dari sumur.
4. *Separator*, saluran yang berisi uap basah dimana terjadi fase pemisahan antara uap dan air.
5. *Moisture Remove*, menghilangkan sisa zat cair dari uap sebelum masuk ke turbin.
6. *Control Stop Valve*, mengatur aliran steam masuk turbin.
7. *Turbine*, mengubah energi termal dari steam menjadi energi mekanik (energi gerak).
8. *Generator*, mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

9. *Steam Ejector/Condenser*, menghilangkan gas yang tidak bisa terkondensasi (Non Condensable Gas, NCG) dari uap keluaran turbin.

10. *Condenser*, saluran dimana steam yang keluar dari turbin dikondensasi sehingga kembali pada fase *liquid*.

11. *Condensate Pump*, memompa steam yang terkondensi dari *Condenser* menuju *Cooling Tower* untuk selanjutnya didinginkan.

12. *Cooling Tower*, komponen yang menggunakan air dingin untuk menghilangkan sisa panas dari steam yang sudah terkondensi.

13. *Cooling Water Pump*, memompa air dingin dari *Cooling Tower* ke *Condenser*.

14. *Injection Well*, sumur/pipa yang menyalurkan zat cair yang terpisah pada proses pemisahan (proses *flashing* pada *Separator*) dan zat cair dari steam yang terkondensasi menuju tempat semula (dalam bumi).

Komponen-komponen di atas biasa digunakan pada PLTPB dengan sistem *flash*[6].

### E. Teknologi yang Digunakan

Saat ini terdapat tiga macam teknologi pembangkit panas bumi (*geothermal power plants*) yang dapat mengkonversi panas bumi menjadi sumber daya listrik, yaitu:

#### 1. *Dry Steam Power Plants*

Pembangkit tipe ini adalah yang pertama kali ada. Pada tipe ini uap panas (*steam*) langsung diarahkan ke turbin dan mengaktifkan generator untuk bekerja menghasilkan listrik. Sisa panas dari *production well* dialirkan kembali ke dalam reservoir melalui *injection well*.

#### 2. *Flash Steam Power Plants*

Panas bumi yang berupa fluida misalnya air panas alam (*hot spring*) di atas suhu 1750 C dapat digunakan sebagai sumber pembangkit *Flash Steam Power Plants*. Fluida panas tersebut dialirkan ke dalam tangki flash bertekanan lebih rendah sehingga terjadi uap panas secara cepat. Uap panas yang disebut dengan *flash* inilah yang menggerakkan turbin untuk mengaktifkan generator yang kemudian menghasilkan listrik. Sisa panas yang tidak terpakai masuk kembali ke dalam reservoir melalui *injection well*.

#### 3. *Binary Cycle Power Plants (BCPP)*

Pada BCPP air panas atau uap panas yang berasal dari sumur produksi (*production well*) tidak pernah menyentuh turbin. Air panas bumi digunakan untuk memanaskan apa yang disebut dengan *working fluid* pada *heat exchanger*. *Working fluid* kemudian menjadi panas dan menghasilkan uap berupa *flash*. Uap tersebut lalu dialirkan untuk memutar turbin dan selanjutnya menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Uap panas yang dihasilkan *heat exchanger* inilah yang disebut sebagai *secondary (binary) fluid*. *Binary Cycle Power Plants* ini sebenarnya merupakan sistem tertutup, jadi tidak ada emisi yang dilepas ke atmosfer.

### F. Hukum Termodinamika

#### A.i.1. Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika mengatakan bahwa energi yang dihasilkan suatu mesin, dalam bentuk usaha mekanik, akan sama dengan selisih antara

energi yang diserap dan yang terbuang dalam bentuk panas.

Hukum pertama termodinamika dapat ditulis dalam persamaan berikut: [7].

$$- = Q - W \quad (1)$$

Dengan memperhatikan bahwa:

1. Semua besaran harus dinyatakan dalam satuan yang sama.
2.  $Q$  positif apabila panas masuk ke dalam sistem.
3.  $W$  positif apabila gaya dilakukan oleh sistem dan perpindahan mempunyai tanda yang sama.

Persamaan di atas menjelaskan bahwa perubahan energi dari keadaan 1 ke keadaan 2 pada suatu lintasan tertentu adalah selisih antara  $Q$ , energi yang diberikan kepada sistem oleh pemindahan panas (dalam satuan panas) dengan  $W$ , energi yang diambil dari sistem oleh kerja usaha (dalam satuan mekanik).

Jika pada suatu sistem terdapat proses dimana energi kembali pada keadaan awal (proses siklis atau reversible) maka :

$$= \text{dan } Q = W \quad (2)$$

Suatu sistem yang terisolasi adalah sistem yang tidak melakukan usaha luar dan tidak ada panas yang mengalir kedalamnya. Maka pada proses tersebut  $Q = W$  dan  $=$  atau  $\Delta U = 0$ , yang berarti energi dalam suatu sistem yang terisolasi tetap konstan seperti yang mengacu pada asas kekekalan energi.

#### A.i.2. Hukum Kedua Termodinamika

Hukum kedua termodinamika mengatakan, "Tidak mungkin ada proses yang hasilnya hanya menyerap panas dari reservoir pada satu suhu dan mengubah seluruh panas ini menjadi usaha mekanik" [7].

Dari kedua hukum di atas dapat disimpulkan bahwa hukum pertama menolak kemungkinan menciptakan atau memusnahkan energi, sedangkan hukum kedua menolak kemungkinan memanfaatkan energi menurut satu cara tertentu.

### G. Properti Termodinamika

Berikut ini properti yang digunakan pada perhitungan termodinamika:

#### A.i.1. Temperatur

Temperatur atau suhu pada sistem adalah salah satu data yang dibutuhkan, dinyatakan dalam satuan derajat celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) atau kelvin (K).

#### A.i.2. Tekanan

Tekanan (pressure) adalah gaya yang menekan fluida per satuan luas, sedangkan pada benda padat tekanan disebut tegangan (stress). Dalam gas terdapat 3 macam tekanan, yaitu:

##### 1. Tekanan Atmosfer :

Tekanan atmosfer pasti ada selama udara memiliki massa dan ada aksi dari gravitasi bumi. Ukuran 1 atm atau 1 atmosfer sama dengan 14,7 psi atau sama dengan 1,013 bar. Tekanan atmosfer tidak selalu konstan, bisa bervariasi tergantung pada posisi ketinggian, temperatur, kelembaban, dan faktor lainnya.

##### 2. Tekanan Gauge :

adalah tekanan relatif atau tekanan suatu fluida yang ditunjukkan oleh alat ukur.

#### 3. Tekanan Absolut :

adalah tekanan total atau tekanan fluida sebenarnya. Perlu diketahui bahwa tekanan gauge akan mengindikasikan nol pada tekanan atmosfer. Sehingga tekanan absolut sama dengan jumlah tekanan gauge dengan tekanan atmosfer [7].

#### A.i.3. Volume Spesifik

Volume spesifik adalah volume benda setiap unit benda, memiliki satuan .

#### A.i.4. Entalpi

Entalpi merupakan istilah dalam termodinamika yang menyatakan jumlah energi yang dimiliki sistem. Sama halnya dengan energi dalam  $U$ , nilai absolut dari entalpi tidak dapat diukur, tetapi perubahan entalpi yang menyertai sistem dapat ditentukan.

#### A.i.5. Entropi

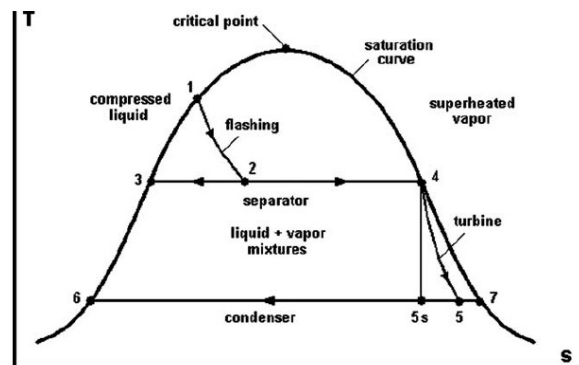
Mengacu pada hukum kedua termodinamika, istilah entropi digunakan untuk menyatakan banyaknya energi dalam sistem yang tidak bisa diubah menjadi usaha.

Entropi atau lebih tepat disebut perubahan entropi dilambangkan dengan  $S$  dan memiliki satuan  $\text{kJ/kg.K}$ , memiliki persamaan berikut:

$$(3)$$

### H. Proses Konversi dalam Termodinamika

Proses pembangkitan energi pada PLTPB dari *steam* hingga menjadi listrik melalui beberapa tahap. Di bawah ini adalah gambar diagram T-s yang menunjukkan beberapa proses yang dialami oleh geofluida dari awal hingga akhir.



Gambar 1. Diagram T-S (Temperatur-Entropi)  
Sumber: DiPippo, 2008: 92.

Keterangan :

1. State 1 (fase liquid) ke state 2 (fase mixtures): adalah proses flashing, yaitu pemisahan antara uap dan air.
2. State 2 (fase mixtures) ke state 3 (fase liquid): keluaran separator menuju brain.
3. State 2 (fase mixtures) ke state 4 (fase vapor): keluaran separator menuju turbin.
4. State 3 (fase liquid) ke state 6 (fase liquid): moisture/air dari brain menuju pipa injector.
5. State 4 (fase vapor) ke state 5 (fase mixtures): uap keluaran turbin menuju condenser.
6. State 5 (fase mixture) ke state 6 (fase liquid): moisture/air dari kondenser menuju pipa injector.

### I. Efisiensi

#### A.i.1. Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin didapatkan dari perbandingan antara kerja actual turbin dengan kerja pada keadaan ideal (isentropik). Formulanya diberikan dalam bentuk berikut: [8].

(4)

Keterangan :

= entalpi inlet turbin (fase gas) kJ/kg

= entalpi outlet turbin kJ/kg

= entalpi outlet turbin pada keadaan isentropic kJ/kg

Untuk mendapatkan digunakan persamaan berikut:[8].

$$= + . (5)$$

Keterangan :

= entalpi outlet turbin (fase liquid) kJ/kg

= entalpi outlet turbin (fase gas) kJ/kg

= fraksi uap inlet turbin

Persamaan fraksi uap dari persamaan:

$$= (6)$$

Keterangan :

= entropi inlet turbin fase gas, kJ/kg

= entropi outlet turbin fase liquid, kJ/kg

= entropi outlet turbin fase gas, kJ/kg

Kemudian didapatkan dari persamaan berikut:

(7)

Dimana factor  $A$  didefinisikan sebagai

$$A = 0.425 (8)$$

#### A.i.2. Efisiensi Generator

Generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Efisiensi dari generator adalah daya keluarannya yaitu daya listrik dibagi dengan daya masukan berupa energi mekanik dari turbin.

Persamaan efisiensi generator adalah sebagai berikut: [8].

(9)

Dimana:

= efisiensi generator

= daya yang dihasilkan generator (kW)

= daya yang dihasilkan turbin (kW)

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh turbin digunakan persamaan :

(10)

Dimana :

= laju aliran massa uap, kg/s

= kerja spesifik turbin, kJ/kg

= fraksi uap pada separator

= laju aliran massa total, kg/s

Untuk mendapatkan nilai kerja turbin spesifik, digunakan persamaan berikut:

(11)

Sedangkan nilai fraksi uap pada separator dinyatakan dalam persamaan berikut: [8]

(12)

#### A.i.3. Adiabatic Efficiency

Adiabatic efficiency digunakan untuk mengetahui performansi proses konversi energi dari steam menjadi

listrik. Pada perusahaan, adiabatic efficiency dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Adiabatic efficiency} = (13)$$

Pada pembilang, Overall efficiency sama dengan perkalian efisiensi turbin dan efisiensi generator dari hasil perhitungan atau pada keadaan aktual. Sedangkan pada penyebut, perkalian tersebut adalah pada kondisi ideal, sehingga diasumsikan:

Turbine eff diasumsikan konstan 98.9%

Generator eff diasumsikan konstan 98.7%

### LAMPIRAN 3 METODOLOGI PENELITIAN

#### Gambar 3.1 Pengumpulan Data

Terdapat 2 jenis data yang digunakan yaitu:

##### 1. Data Primer

Data primer adalah data yang langsung diambil dari sumber, atau data yang masih asli dan masih memerlukan analisis lebih lanjut. Pada bagian ini data yang dihimpun adalah:

- Temperatur, tekanan dan laju aliran massa uap pada masing-masing state yang ada pada diagram T-s.
- Daya spesifik yang dibangkitkan.
- Temperatur dan tekanan lingkungan (atmosfer) pada daerah tersebut.

##### 2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung. Data ini berasal dari bahan perpustakaan atau juga dari peneliti melalui media perantara. Dalam hal ini data yang dihimpun adalah:

- Jenis teknologi pembangkitan yang digunakan dalam pabrik (*dry steam, flash steam, dan binary cycle*).
- Teori-teori yang berhubungan dengan energi panas bumi.
- Rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung atau mengolah data primer yang telah didapatkan.
- Steam table* untuk mendukung perhitungan.

#### Gambar 3.2 Pengolahan dan Analisis Data

Perhitungan Efisiensi Overall Sistem Konversi Energi per Tahun

Perhitungan efisiensi sistem konversi dilakukan pada data tahun pertama operasi hingga saat ini. Namun karena data didapatkan adalah data dari tahun 2010 sampai dengan 2013 maka perhitungan hanya dilakukan pada kondisi 4 tahun terakhir.

Penentuan Tekanan Optimum pada Separator

Uap keluaran separator akan langsung menuju turbin menjadi energi termal masukan turbin, dengan menentukan tekanan optimum pada separator maka diharapkan bisa menaikkan daya keluaran turbin dan juga efisiensi.

Penentuan Tekanan Optimum pada Kondenser

Uap keluaran turbin langsung ditampung oleh kondenser, dilihat dari persamaan (4) bahwa efisiensi turbin juga dipengaruhi oleh entalpi outlet turbin yang nilainya didapatkan dari nilai tekanan/temperature dari steam table, maka dengan menentukan tekanan

optimum condenser diharapkan bisa menaikkan daya keluaran turbin dan juga efisiensinya.

Gambar 3. Kurva Hasil Plotting Tekanan Separator

Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

### Gambar 3.3 Penutup

Setelah perhitungan dan analisis dari perhitungan selesai dikerjakan maka sebagai akhir dari kegiatan penelitian disusunlah suatu kesimpulan yang menjawab tujuan penulisan skripsi, selain itu penulisan saran juga disusun ditujukan kepada perusahaan maupun untuk para peneliti selanjutnya agar bisa lebih bermanfaat di masa mendatang

#### LAMPIRAN 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### Gambar 4.1 Gambaran Umum Objek Penelitian

Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd., adalah perusahaan pembangkit listrik tenaga panas bumi yang berada 40km sebelah utara kota Bandung, Jawa Barat. Perusahaan ini memiliki 2 unit pembangkit, pembangkit unit 1 beroperasi sejak tahun 2000 dengan produksi listrik sebesar 110 MW. Sedangkan pembangkit unit 2 diresmikan tahun 1999 dengan produksi listrik sebesar 117 MW. Maka, total energy listrik yang dihasilkan Star Energy Geothermal Ltd., saat ini adalah sebesar 227 MW yang dibeli oleh PLN untuk disalurkan ke jaringan transmisi Jawa Barat.

### Gambar 4.2 Hasil Pengumpulan Data

Data yang didapatkan dari perusahaan ditampilkan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Data Perusahaan tahun 2010 s/d 2013

Tahun	Temperatur Inlet Turbin [°C]	Temperatur Outlet Turbin [°C]	Tekanan Inlet Turbin [bar]	Tekanan Outlet Turbin [mbar]	Laju Aliran Massa [kg/s]	Daya Output Generator [MW]
2010	182.089	49.1464	9.5753	-0.7088	210.134	115.0243
2011	182.184	49.5284	9.5564	-0.7115	214.288	114.2287
2012	182.133	48.5975	9.592	-0.712	213.896	114.8338
2013	182.37	49.8597	9.5996	-0.7101	212.796	113.5983

### Gambar 4.3 Perhitungan Efisiensi per Tahun

Untuk melakukan perhitungan efisiensi dibutuhkan properti termodinamika yaitu nilai entalpi dan entropi masing-masing state. Dengan menggunakan *steam table* didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 2. Entalpi dan Entropi masing-masing State

Tahun	Entalpi Inlet		Entropi Inlet		Entalpi Outlet		Entropi Outlet
	h3	h4	s3	s4	h6	h7	
2010	771.759	2778.888	2.16	6.56	205.141	2589.537	0.69
2011	772.182	2778.969	2.16	6.56	206.738	2590.212	0.69

2012	771.959	2778.926	2.16	6.56	202.847	2588.566	0.68	8.10
2013	773.004	2779.126	2.16	6.56	208.123	2590.798	0.7	8.07

#### Efisiensi turbin

Efisiensi turbin didapatkan dari persamaan (4):

$$\begin{aligned} \text{Sesuai persamaan (5), entalpi outlet isentropic (adalah:} \\ = 205.141 + 0.79 \cdot (2589.537 - 205.141) \\ = 2088.814 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Kemudian entalpi outlet actual (, didapat dari persamaan (7):

$$= 2248.4 \text{ kJ/kg}$$

Sehingga efisiensi turbin adalah:

$$78.88\%$$

Hasil selengkapnya disajikan pada tabel 3.

#### Efisiensi Generator

Efisiensi generator didapat dari persamaan (9):

Dimana daya output turbin ( adalah:

$$\begin{aligned} = \\ \text{didapatkan dari data sebesar } 400 \text{ kg/s} \\ = 0.6164 \cdot 400 \cdot 530.22 \\ = 138.72 \text{ MW} \end{aligned}$$

Sehingga efisiensi generator didapatkan sebesar:

$$= 87.99\%$$

Hasil selengkapnya disajikan pada tabel 3.

#### Efisiensi Adiabatik

Adiabatic efficiency =

$$\text{Adiabatic efficiency} =$$

$$\text{Adiabatic efficiency} = 71.10\%$$

Hasil selengkapnya disajikan pada tabel 3 berikut:

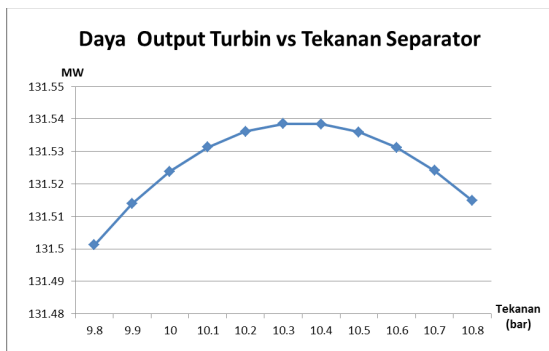
Tabel 3. Hasil Perhitungan Efisiensi

Tahun	Ef. Turbin [%]	Ef. Generator [%]	Ef. Overall [%]	Ef. Adiabatik [%]
2010	78.8752	87.9864	69.3995	71.0956
2011	78.7916	85.8603	67.6507	69.304
2012	78.8443	87.3218	68.8483	70.5309
2013	78.8540	86.8911	68.5171	70.1917

### Gambar 4.4 Penentuan Tekanan Optimum Separator

Dengan mengubah-ubah nilai tekanan separator berarti mengubah-ubah tekanan input turbin sehingga berubah pula daya keluarannya. Hasil plotting bisa dilihat dari gambar 3 berikut:

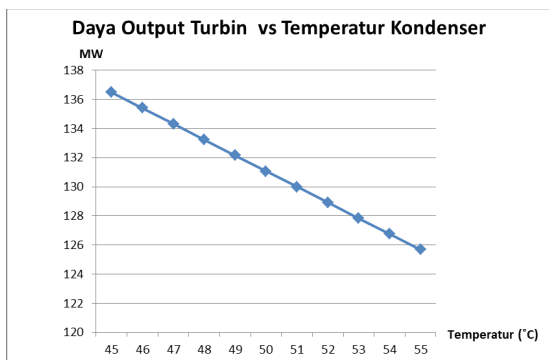




Gambar 3. Kurva Hasil Plotting Tekanan Separator

Dari hasil plotting di atas dapat diketahui bahwa pada tekanan sebesar 10.2 bar dihasilkan daya output turbin maksimal sebesar 131.54 MW dan efisiensi sebesar 78.87%.

## Gambar 4.5 Penentuan Temperatur Optimum Kondenser



Gambar 4. Kurva Hasil Plotting Temperatur Kondenser

Dari hasil plotting di atas, temperatur kondenser dinaikkan dari 45 °C sampai 55°C, semakin naik suhu kondenser maka semakin turun daya output turbin secara linear, maka daya listrik optimum tidak dapat diperoleh dari meninjau temperatur kondenser (outlet turbin).

## LAMPIRAN 5 PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis efisiensi konversi energi Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd., Unit 1 maka dapat disimpulkan:

Efisiensi turbin dari tahun 2010 sampai dengan 2013 berturut-turut adalah sebesar 78.88%, 78.79%, 78.84%, 78.85%. Efisiensi generator dari tahun 2010 sampai dengan 2013 berturut-turut adalah sebesar 87.99%, 85.86%, 87.32%, 86.89%. Efisiensi overall dari tahun 2010 sampai dengan 2013 berturut-turut adalah sebesar 69.39%, 67.65%, 68.85%, dan 68.52%.

Besar perbedaan efisiensi sistem konversi energi saat ini dibanding saat tahun pertama beroperasi (efisiensi adiabatik) adalah sebesar 70.19%.

Dengan menentukan tekanan optimum pada separator maka didapatkan daya keluaran turbin maksimal, namun tidak dengan efisiensinya. Tekanan optimum separator adalah sebesar 10.3 bar, akan menghasilkan daya listrik sekitar 131.54 MW, namun efisiensinya hanya berkisar 78.87%.

Pada penentuan temperatur optimum kondenser tidak didapatkan hasil yang akurat, karena semakin naik suhu kondenser maka daya output turbin akan naik secara linear sehingga tidak didapatkan nilai temperatur kondenser optimum.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bertani, Ruggero. 2009. *Geothermal Energy: An Overview On Resources And Potential*. International Geothermal Days Slovakia 2009 Convergence & Summer School I.1., 1-3.
- [2] Pambudi, Nugroho Agung., Ryuichi Itoi., Saeid Jalilinasrabady, & Khasani. 2013. *Performance evaluation of Double Flash Geothermal Power Plant at Dieng Using Second Law of Thermodynamic*. Proceeding, Thirty-Eight Workshop on Geothermal Reservoir Engineering.
- [3] Wibawa, Unggul. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif*. Malang: Universitas Brawijaya.
- [4] Junaldi dan Katherin Indriawati. 2012. *Prediksi Daya Listrik Geothermal Power Plant Berdasarkan Metode Weighted Moving Average di PT. Geo Dipa Energi Unit Dieng*. Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, (2012) 1-6.
- [5] Watchel, Alan. 2010. *Energy Today: Geothermal Energy*. New York: Infobase Publishing.
- [6] Wisniewski, Richard. 2012. *A Brief Overview of Geothermal Energy and Its Reliability Complication*. The Journal of The Reliability Information Analysis Center.
- [7] Zemansky, Mark W dan Francis Weston Sears. 1999. *Fisika untuk Universitas I Mekanika – Panas – Bunyi*. Jakarta: Yayasan Dana Buku Indonesia.
- [8] DiPippo, Ronald. 2008. *Geothermal Power Plant: Principles, Applications, Case Studies, and Environmental Impact*. Oxford OX2 8DP, UK: Elsevier.